

ANALISIS EKSPERIMENTAL PENGARUH PENEMPATAN SAMBUNGAN BASAH (*WET-JOINT*) TERHADAP BEBAN ULTIMIT BALOK BETON BERTULANG

Vera A. Noorhidana ¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara eksperimental pengaruh penempatan sambungan basah (*wet-joint*) pada balok beton pracetak, yaitu pada daerah geser maksimum dan daerah lentur maksimum. Perilaku balok pracetak yang disambung dibandingkan dengan perilaku balok beton monolit.

Benda uji untuk *wet-joint* pada daerah geser berupa 3 balok beton bertulang (150mmx300mmx2200mm), yaitu 1 buah balok monolit (BMN-G) dan 2 buah balok pracetak (BPN1-G dan BPN2-G). Panjang *wet-joint*-geser 300mm dan diletakkan di antara tumpuan dan beban terpusat. Benda uji untuk *wet-joint* pada daerah lentur berupa 4 balok beton bertulang (150mmx250mmx2100mm), yaitu 1 buah balok monolit (BMN-L) dan 3 buah balok pracetak (BPN1-L, BPN2-L, dan BPN3-L). Panjang *wet-joint*-lentur 400mm dan diletakkan di tengah bentang balok. Kedua balok pracetak tersebut dibandingkan dengan balok monolit tanpa sambungan (BM). Balok ditumpu sendi-rol, kemudian diberi 2 beban terpusat pada jarak yang simetris dari masing-masing tumpuan.

Hasil pengujian berupa analisis kurva hubungan beban-lendutan dan pola retak. Beban ultimit yang dapat diterima BPN1-L, BPN2-L, dan BPN3-L hanya berkisar 60-70% dari beban ultimit BMN-L. Sedangkan beban ultimit yang dapat diterima BPN1-G dan BPN2-G sebesar > 90% dari beban ultimit BMN-G. Penempatan *wet-joint* pada daerah geser maksimum balok memberikan performa yang lebih baik dibandingkan pada daerah lentur maksimum balok.

Kata kunci: balok beton pracetak, beban ultimit, sambungan basah, geser, lentur.

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini penggunaan elemen beton pracetak sudah semakin luas, baik sebagai struktur utama maupun non-struktural. Elemen beton pracetak dibuat terlebih dahulu di pabrik, kemudian elemen tersebut dirakit di lapangan sehingga terbentuk suatu struktur yang utuh. Pembuatan elemen beton pracetak di pabrik biasanya dilakukan dengan pengawasan yang baik. Hal tersebut yang menyebabkan dalam segi waktu, mutu, dan biaya, beton pracetak lebih praktis dibandingkan beton konvensional.

Bagian yang rawan dari struktur pracetak adalah pada bagian sambungan (*joint*) yang menghubungkan elemen pracetak yang satu dengan elemen pracetak lainnya. Dalam sistem beton pracetak dikenal dua jenis sambungan, yaitu sambungan basah (*wet-joint*) dan sambungan kering (*dry-joint*). Untuk *wet-joint* (*in-situ concrete joint*), struktur yang terbentuk lebih monolit, toleransi dimensi lebih tinggi bila dibandingkan dengan *dry-joint*, tetapi membutuhkan *setting-time* beton cukup lama yang berpengaruh pada waktu pelaksanaan konstruksi. Pada *dry-joint*, struktur yang terbentuk kurang monolit, setelah proses instalasi sambungan segera dapat berfungsi sehingga mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi, kelemahannya: toleransi dimensi rendah sehingga membutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan pemasangan (Noorhidana, 2001).

Dalam merencanakan sambungan balok pracetak, kita tidak boleh merencanakannya dengan sembarangan. Apakah sambungan diletakkan di tengah bentang balok yang merupakan daerah lentur maksimum, atau diletakkan dekat tumpuan balok yang mengalami gaya geser dominan. Tentunya pemilihan lokasi sambungan mempunyai dasar pertimbangan tertentu, tergantung dari jenis sambungan dan sifat mekanika sambungan.

Dalam penelitian ini akan dibuktikan secara eksperimental pengaruh penempatan sambungan basah (*wet-joint*) terhadap perilaku balok pracetak secara umum. Sambungan balok pracetak yang digunakan merupakan sambungan yang sederhana yaitu berupa tulangan utama balok yang menjorok keluar dari elemen balok pracetak dengan panjang tertentu. Tulangan yang menjorok keluar ini ujungnya ditekuk seperti kait. Penentuan panjang tulangan yang keluar dan kaitnya mengikuti peraturan SKSNI T15-1991-03. Pertemuan tulangan yang keluar dari kedua balok pracetak kemudian dicor dengan adukan beton, inilah yang dimaksud *wet-joint*-nya. Dalam penelitian ini dibandingkan antara *wet-joint* yang diletakkan pada daerah lentur maksimum dan *wet-joint* yang diletakkan daerah geser maksimum dari balok yang ditumpu sendi-rol dalam pembebanannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran (*development length*) adalah panjang penanaman yang digunakan untuk mengembangkan tegangan leleh dalam tulangan. SKSNI T15-1991-03 Pasal 3.5.2 memberikan nilai panjang penyaluran dasar (l_{db}) untuk tulangan tarik tergantung dari diameter baja tulangan, mutu beton, dan mutu baja. Untuk batang deformasi ≤ 36 mm yang terbebani tarik didapat dengan rumus :

$$l_d = 0,02 \frac{A_b \cdot f_y}{\sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots (1)$$

dengan syarat $l_{db} \geq 0,06 d_b f_y$ atau 300 mm

dengan :

l_{db}	=	Panjang penyaluran dasar (mm)
f_y	=	Tegangan leleh baja (MPa)
A_b	=	luas penampang batang tulangan (mm ²)
f'_c	=	kuat tekan beton (MPa)

Untuk tulangan berulir, diameter nominalnya tidak dapat dihitung secara langsung dengan jangka sorong seperti pada tulangan polos, perhitungan untuk mendapatkan diameter nominal menggunakan persamaan berikut (Murdock & Brook, 1999) :

$$A_b = \frac{m}{0,00785L} \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

A_b	=	luas penampang tulangan (mm ²)
m	=	massa tulangan (kg)
L	=	panjang tulangan (m)

Noorhidana (2006) telah membuktikan bahwa rumusan panjang penyaluran tulangan SKSNI T15-1991-03 Pasal 3.5.2 dapat digunakan untuk menentukan panjang *wet joint* pada sambungan basah balok pracetak.

3. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik Universitas Lampung, yang dibagi menjadi lima tahap, yaitu: pengujian bahan-bahan dasar beton, rencana campuran, pembuatan benda uji, pengujian benda uji, dan analisis hasil.

Bahan susun beton untuk pembuatan benda uji berasal dari bahan lokal, yaitu pasir dari Gunung Sugih (Lampung Tengah), split (dengan ukuran maksimum 19 mm berasal dari Tanjungan (Lampung Selatan), dan semen portland tipe I merk Tiga Roda. Material tersebut terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sesuai standar ASTM (*American Society For Testing and Materials*), hasilnya terlihat pada Tabel 1. Perencanaan komposisi campuran pada penelitian ini menggunakan metode ACI 211. 4R - 93 (*American Concrete Institute*).

Tabel 1. Hasil Uji Fisik Agregat

No	Pengujian agregat	Agregat halus	Standar ASTM
1.	Kadar air Agregat Halus (%)	0,216	0 - 1
2.	Kadar air Agregat Kasar (%)	1,21	0 - 3
3.	Berat Jenis SSD Agregat Halus	2,65	2,5 – 2,7
4.	Berat Jenis SSD Agregat Kasar	2,7	2,5 – 2,7
5.	Kadar Lumpur Agregat Halus (%)	2	< 5 %
6.	Kadar Organik Agregat Halus	Baik (No.2)	Coklat Muda
7.	Modulus Kehalusan Agregat Halus	2,68	2,3 – 3,1
8.	Modulus Kehalusan Agregat Halus	6,84	6 - 8

Spesifikasi dan peng-kode-an benda uji ditampilkan dalam Tabel 2 dan Tabel 3. Masing-masing kode dibuat 1 buah benda uji. Panjang sambungan basah (*wet-joint*) pada balok pracetak diperoleh dari Persamaan 1, sehingga didapat L_d minimum = 300mm. Untuk balok yang dibebani geser menggunakan panjang *wet-joint* 300mm, yang diletakkan di antara tumpuan dan beban terpusat. Sedangkan untuk balok yang dibebani lentur menggunakan panjang *wet-joint* 400mm, yang diletakkan di tengah bentang balok. Untuk lebih jelasnya detail benda uji balok beton monolit dan balok beton pracetak dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Tahapan pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

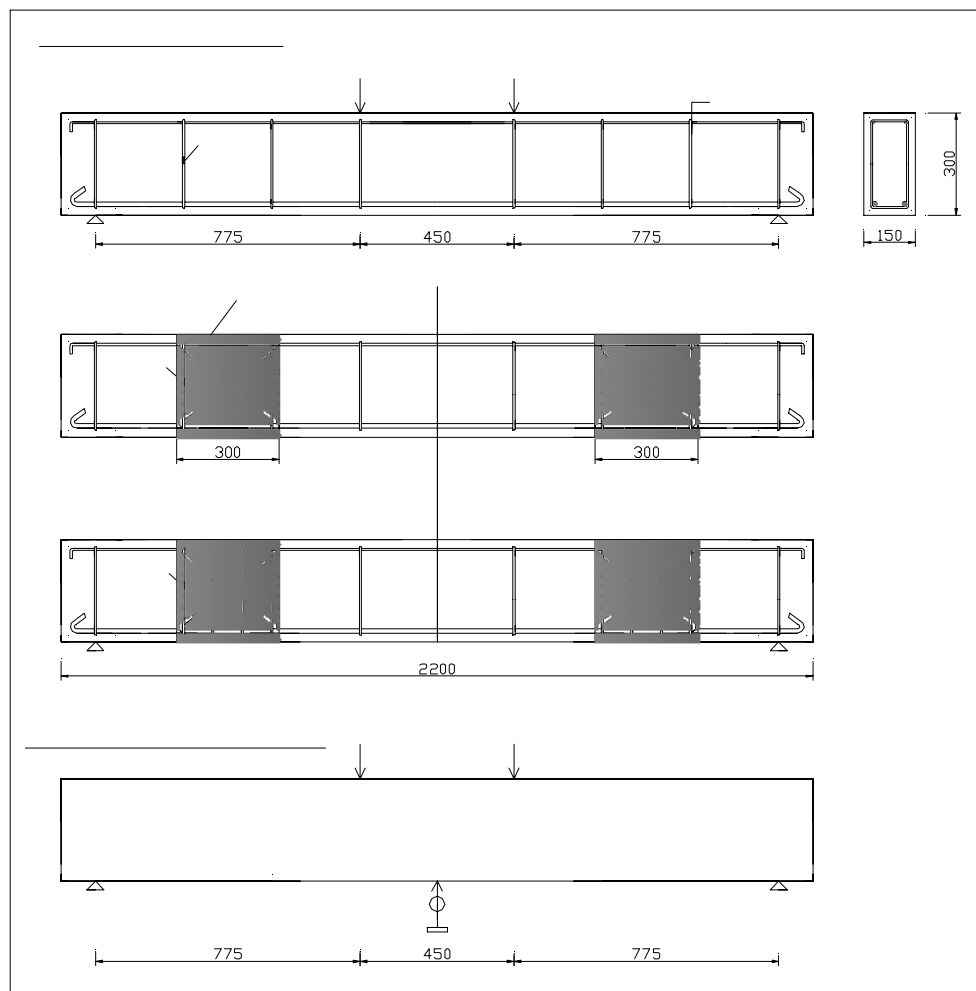
1. Bahan-bahan susun beton, berdasarkan rencana campuran, dicampur dan diaduk menjadi satu dalam *concrete mixer*.
2. Adukan beton tersebut diukur nilai *slump*nya, nilai tersebut dicatat dan ditabelkan, kemudian adukan dituangkan ke dalam cetakan balok monolit, cetakan balok pracetak, cetakan silinder (15cmx30cm) untuk pengujian kuat tekan beton, dan cetakan balok (10x10x40cm) untuk pengujian tarik lentur beton. Kemudian dipadatkan dengan memukul dinding cetakan secara perlahan dengan palu karet dan menggetarkannya dengan *vibrator*.
3. Benda uji dibuka dari cetakan setelah berumur 3 hari, kemudian dilakukan perawatan dengan cara menutupi dengan karung basah atau merendamkan dalam air (ASTM C 31 - 91).
4. Setelah balok pracetak tersebut berumur 28 hari, penyambungan dilakukan dengan menuangkan adukan beton (*in-situ concrete*) pada daerah sambungan.
5. Pengujian dilakukan setelah *in-situ concrete* pada balok pracetak tersebut berumur 28 hari.

Tabel 2. Keterangan Benda Uji

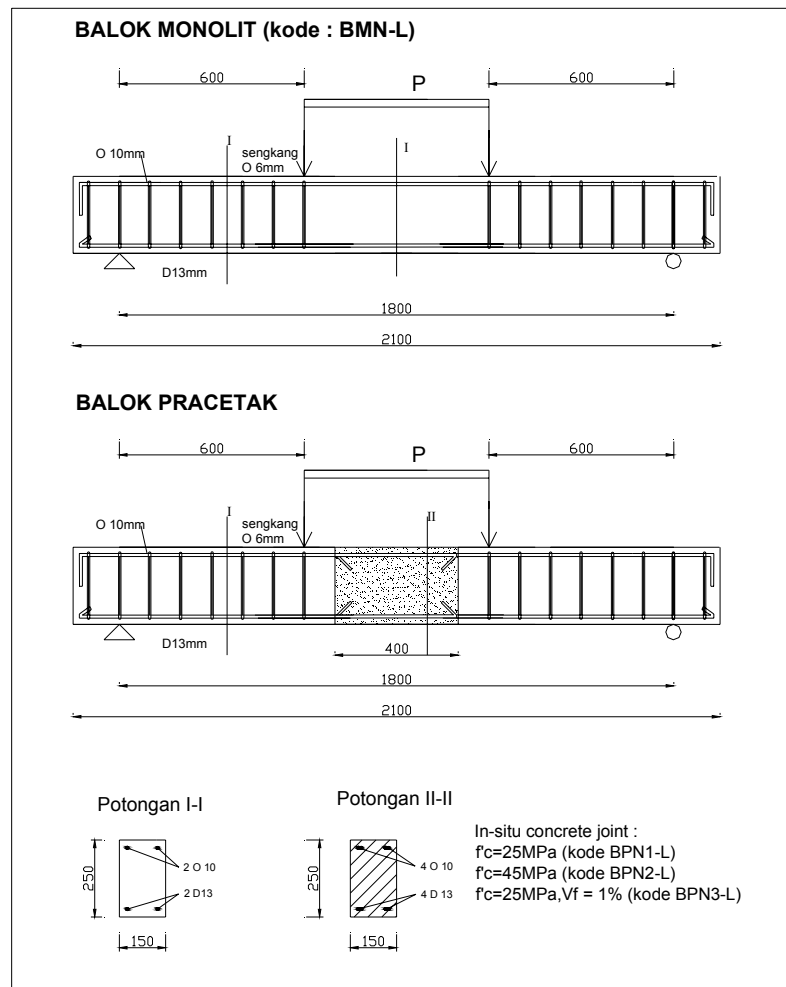
No.	Kode Balok	Keterangan
1.	BMN-G	Balok monolit mutu normal sebagai pembanding pada pembebanan geser
2.	BPN1-G	Balok pracetak mutu normal, letak sambungan di daerah geser maksimum, jumlah sengkang pada sambungan 2 buah.
3.	BPN2-G	Balok pracetak mutu normal, letak sambungan di daerah geser maksimum, jumlah sengkang pada sambungan 4 buah.
4.	BMN-L	Balok monolit mutu normal sebagai pembanding pada pembebanan lentur
5.	BPN1-L	Balok pracetak mutu normal, letak sambungan di daerah lentur maksimum (tengah bentang), in-situ concrete: beton mutu normal.
6.	BPN2-L	Balok pracetak mutu normal, letak sambungan di daerah lentur maksimum (tengah bentang), in-situ concrete: beton mutu tinggi.
7.	BPN3-L	Balok pracetak mutu normal, letak sambungan di daerah lentur maksimum (tengah bentang), in-situ concrete: beton fiber baja mutu normal.

Tabel 3. Spesifikasi Benda Uji

No.	Kode	Dimensi balok (mm)	Mutu beton rencana (MPa)	Mutu beton balok (MPa)	Mutu beton di <i>wet-joint</i> (Mpa)	Panjang <i>wet-joint</i> (cm)	Tulangan tekan	Tulangan tarik
1.	BMN-G	150x300x2000	30	38,416	-	-	2 Ø10mm	2D13 mm
2.	BPN1-G	150x300x2000	30	38,416	34,943	300	2 Ø10mm	2D13 mm
3.	BPN2-G	150x300x2000	30	38,416	34,943	300	2 Ø10mm	2D13 mm
4.	BMN-L	150x250x1800	25	32,35	-	-	2 Ø10mm	2D13 mm
5.	BPN1-L	150x250x1800	25	32,35	29,05	400	2 Ø10mm	2D13 mm
6.	BPN2-L	150x250x1800	25	32,35	46,59	400	2 Ø10mm	2D13 mm
7.	BPN3-L	150x250x1800	25	32,35	41,12	400	2 Ø10mm	2D13 mm



Gambar 1. Detail benda uji balok beton bertulang : letak *wet-joint* di daerah geser maksimum.



Gambar 2. Detail benda uji balok beton bertulang : letak wet-joint di daerah lentur maksimum.

Pengujian kuat tekan beton digunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) yang mengacu pada ASTM C 39. Pengujian dilakukan dengan meletakkan silinder beton tegak pada plat bawah, kemudian dilakukan pembebanan. Beban maksimum dicatat pada saat beton mengalami pecah. Kuat tekan beton diperoleh dengan membagi beban dengan luas.

Pengujian pada balok beton bertulang monolit dan pracetak dilakukan dengan alat *Hidraulic Jack* yang diberi alat tambahan yaitu *Loading Girder* yang cukup kuat dan kaku. Balok beton tersebut diletakkan pada tumpuan sendi dan rol. Dua beban vertikal ditempatkan simetris pada balok dengan jarak tertentu dari tumpuan. *Dial gage* ditempatkan pada sisi bawah di tengah bentang balok untuk mengukur lendutan vertikal yang terjadi pada setiap tahap pembebanan. Pada sengkang di dalam *wet-joint* dipasang *strain gauge* untuk mengukur regangan sengkang selama pembebanan. *Strain gauge* tersebut dipasang sebelum tahap pengecoran balok. Kemudian *strain gauge* dihubungkan dengan kabel, yang selanjutnya kabel tersebut dihubungkan ke *Data Logger* yang gunanya untuk membaca regangan yang terukur *strain gauge* selama pembebanan.

Beban vertikal diberikan dengan sistem tekanan hidrolis dari alat *hydraulic jack* melalui *proving ring* ke balok dengan interval beban 4 strip (pembacaan pada proving ring, 4 strip setara dengan 288,5kg). Nilai lendutan balok, regangan sengkang, dan pola retak dicatat pada setiap tahap pembebanan sampai benda uji runtuh.

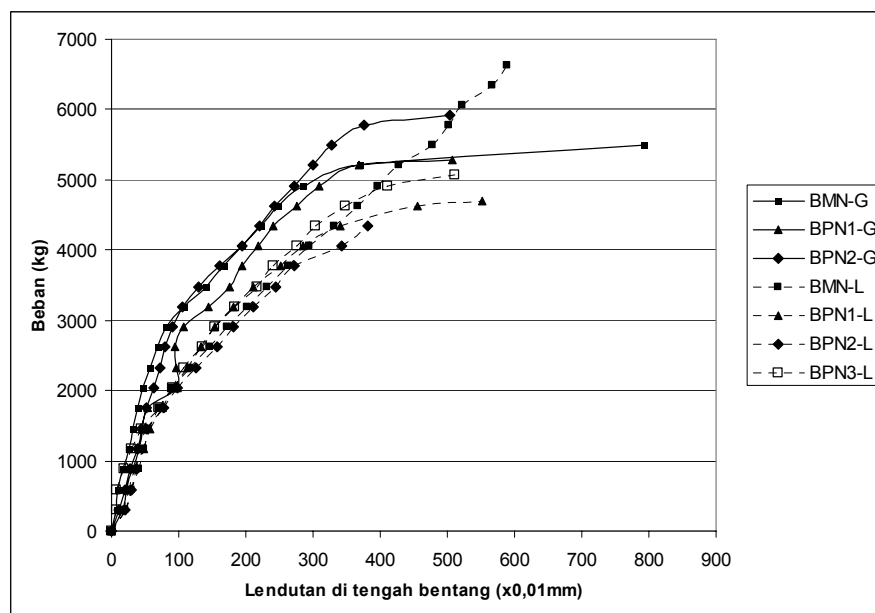
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Balok

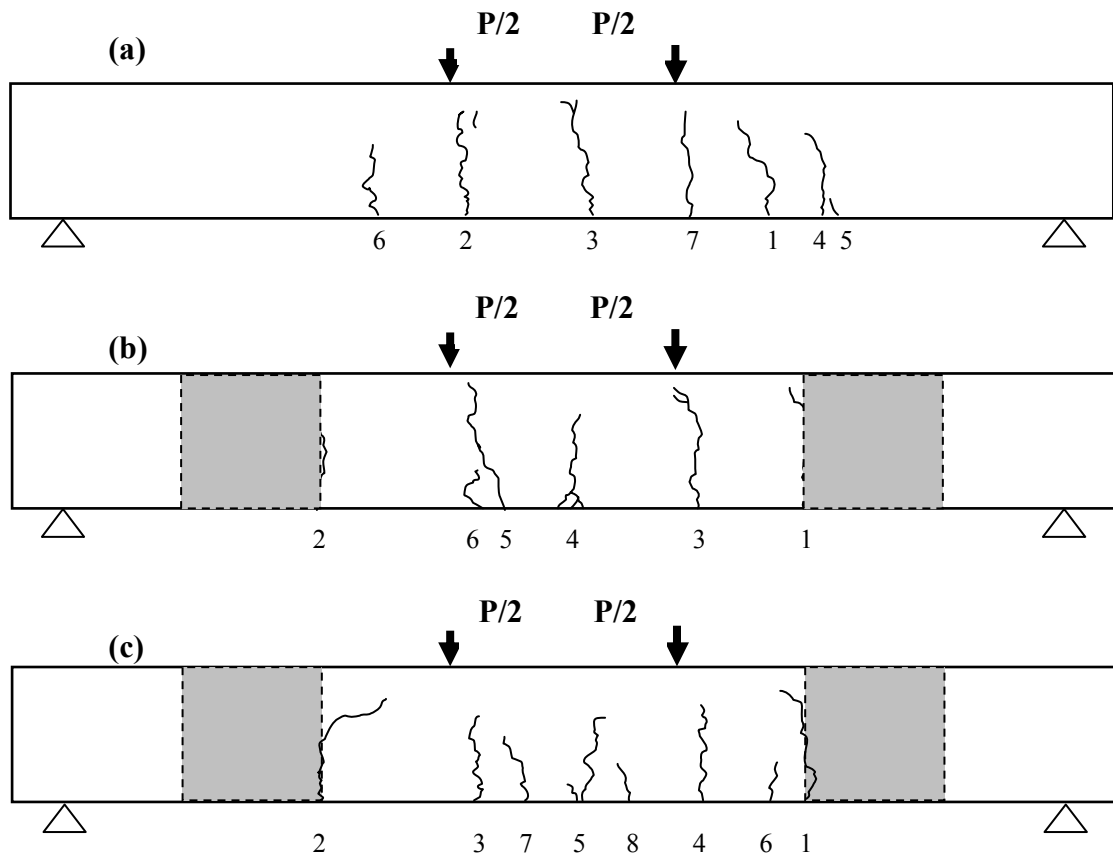
Beban ultimit (P_u) adalah beban yang menyebabkan balok mengalami *failure*. Beban ultimit masing-masing balok dimasukkan ke dalam Tabel 4. Dari data beban dan lendutan dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan seperti yang terlihat pada Gambar 3. Pola retak dari balok beton monolit dan balok pracetak dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Tabel 4. Beban ultimit balok beton bertulang

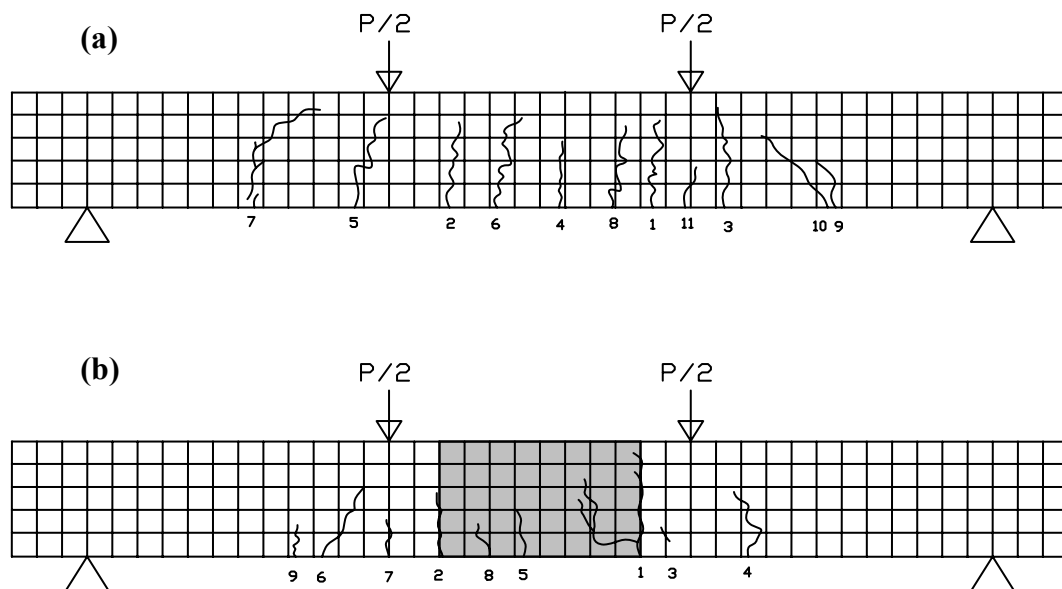
No.	Kode	Beban ultimit (kg)	Selisih terhadap beban ultimit balok monolit	Persentase beban ultimit terhadap beban ultimit balok monolit
1.	BMN-G	5489	-	100,00%
2.	BPN1-G	5274	-3,92%	96,08%
3.	BPN2-G	5917	+7,80%	107,79%
4.	BMN-L	6631	-	100,00%
5.	BPN1-L	4701	-29,10%	70,89%
6.	BPN2-L	4143	-37,52%	62,48%
7.	BPN3-L	5059	-23,70%	76,29%

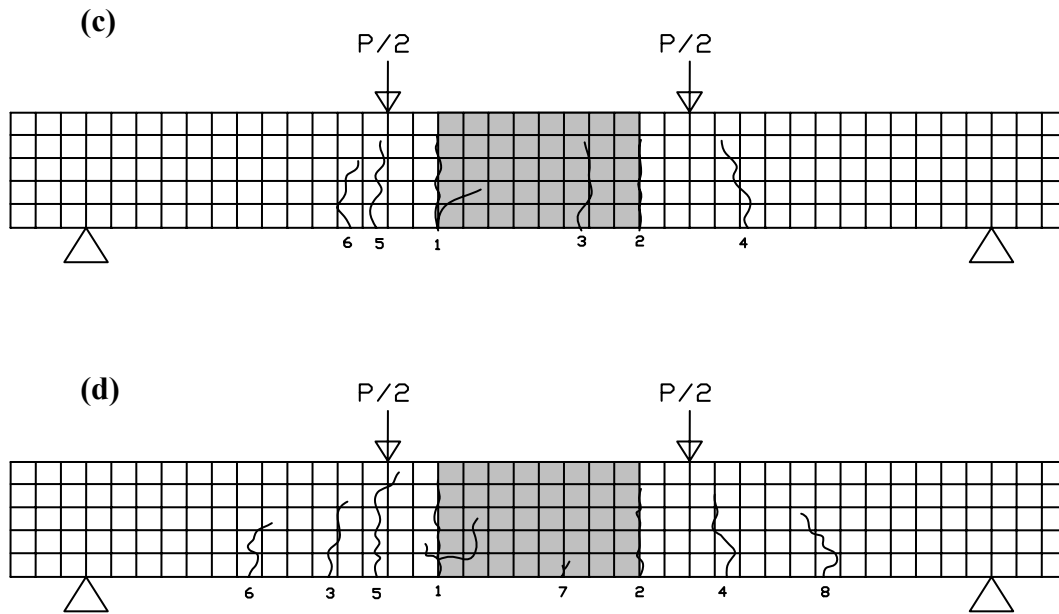


Gambar 3. Kurva hubungan beban dan lendutan di tengah bentang balok



Gambar 4. Pola Retak pada (a) BMN-G, (b) BPN1-G, (c) BPN2-G





Gambar 5. Pola Retak pada (a) BMN-L, (b) BPN1-L, (c) BPN2-L, (d) BPN3-L

4.2. Pembahasan

Seperti yang terlihat pada Tabel 4, beban maksimum BPN1-G lebih kecil 3,9% dari BMN-G dan beban maksimum BPN2-G lebih besar 7,9% dari BMN-G. Beban maksimum BPN1-G yang lebih kecil dari BMN-G bisa dipahami mengingat pada sambungan BPN1-G tulangan utamanya (tulangan lenturnya) terputus (tidak menerus) antara komponen pracetak yang satu dengan yang lain. Namun demikian selisih tersebut cukup kecil. Bisa dikatakan BMN-G dan BPN1-G mempunyai kurva hubungan beban-lendutan yang hampir sama (lihat Gambar 3). Penambahan sengkang dalam sambungan *wet-joint* dapat meningkatkan beban maksimum balok, seperti yang terjadi pada BPN2-G.

Balok dengan sambungan *wet-joint* yang dibebani lentur (BPN1-L, BPN2-L, BPN3-L), memiliki beban ultimit yang lebih kecil 20% s.d. 37% dibandingkan dengan beban ultimit BMN-L. Seperti terlihat pada Gambar 3, ketiga balok tersebut pada tahap awal pembebanan memiliki kurva yang berimpit dengan BMN-L, yang menunjukkan pada tahap itu keempat balok mempunyai kekakuan yang hampir sama. Seiring dengan pertambahan beban, BPN1-L, BPN2-L, dan BPN3-L mengalami penurunan kemiringan kurva (yang berarti juga penurunan kekakuan balok) lebih dahulu dibandingkan dengan BM, sampai kemudian mengalami keruntuhan. Beban maksimum balok pracetak yang lebih kecil dari BMN-L bisa dipahami mengingat pada sambungan balok pracetak tulangan utamanya (tulangan lenturnya) terputus (tidak menerus) antara komponen pracetak yang satu dengan yang lain. Ini berarti kapasitas beban maksimum balok pracetak yang disambung dengan *wet-joint* yang terletak di daerah lentur maksimum, dengan tulangan utama yang tidak menerus, tidak dapat menyamai balok monolit (BM).

Pemeriksaan pola retak dilakukan dengan melihat secara langsung dari sisi balok pada setiap tahap pembebanan berlangsung. Pada saat retak timbul, lebar retak tersebut ditandai dan diukur lebarnya dengan menggunakan mikroskop retak. Pola retak dan urutan retak yang terjadi untuk tiap benda uji balok ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Pada balok pracetak, retak pertama terjadi pada *interface* antara beton lama dan beton baru (Gambar 4.b., Gambar 4.c., dan Gambar 5.b., Gambar 5.c. Gambar 5.d.). Retak pada *interface* sambungan ini tidak mengubah kekakuan balok, terlihat dari kurva beban-lendutan masih tetap linier (Gambar 3). Ketika terjadi retak lentur, kekakuan balok mulai berkurang, terlihat dari kurva beban-lendutan yang membelok. Dapat disimpulkan, sambungan *wet-joint* dan jumlah sengkang dalam *wet-joint* tidak berpengaruh terhadap beban yang menyebabkan retak lentur pertama pada balok beton bertulangan (semua retak lentur pertama terjadi pada level beban yang hampir sama).

Interface ini adalah bagian yang paling lemah dari keseluruhan balok. Hal ini dikarenakan beton cor di tempat (sambungan) pada proses pengerasannya mengalami penyusutan. Akibat penyusutan ini menyebabkan timbul pori (celah) antara beton lama dan beton baru. Pori/celah inilah yang menyebabkan retak pertama cenderung terjadi di sini, yang juga menentukan nilai beban retak-pertama.

Dari hasil di atas, terlihat bahwa balok pracetak dengan sambungan *wet-joint* yang terletak pada daerah geser maksimum mempunyai perilaku yang hampir sama dengan balok monolit ($> 90\%$ kapasitas balok monolit). Sedangkan balok pracetak dengan sambungan *wet-joint* yang terletak pada daerah lentur maksimum memiliki beban ultimit berkisar 60 – 70% dari beban ultimit balok monolit.

5. KESIMPULAN

1. Sambungan *wet-joint* sebaiknya diletakkan di bagian geser maksimum pada balok beton bertulang dikarenakan memiliki kapasitas beban ultimit dan perilaku struktur yang mendekati beban ultimit dan perilaku struktur balok monolit.
2. Retak pertama pada BP1 dan BP2 terjadi pada *interface* sambungan *wet-joint* pada level beban yang lebih rendah dari beban retak lentur pertama. Adanya sambungan pracetak pada daerah geser tidak berpengaruh terhadap beban retak lentur pertama.
3. Penambahan sengkang pada sambungan *wet-joint* dapat meningkatkan beban ultimit balok (+7,9% dari BMN-G).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada saudara/i Thomas Andriwan, Erna Purnama, dan Dinda Wijaya, yang telah memberikan kontribusi dalam penulisan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (1978), *Precast Concrete Connection Details*, Stupre Joint Committee, Structural Design Manual, Beton-Verlag, Dutch.
- Anonim, (1991), *SK SNI T-15-1991-03, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB, Bandung.
- Elliot, K.S. (1996), *Multi Storey Precast Concrete Framed Structures*, Blackwell Science, London U.K.
- Murdock, L.J. & K.M. Brook (1990), *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi ke-4, Erlangga, Jakarta.

- Nawy, Edward G. (1996), *Reinforced Concrete: Fundamental Approach*, 3rd ED, Prentice-Hall Inc.
- Noorhidana, Vera A. (2001), *Analisis Eksperimental Kolom Pracetak Dry Joint Akibat Beban Siklik Lateral*, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Noorhidana, Vera A. (2006), *Analisis Perilaku Balok Beton Pracetak dengan Wet Joint yang Menerima Lenturan*, Vol. 16, No. 1, *Jurnas Sains dan Teknologi EMAS*, FT UKI, Jakarta.
- Noorhidana, Vera A. (2007), *Pengaruh Mutu Beton sebagai Wet-Joint pada Perilaku Lentur Balok Beton Pracetak*, Prosiding Seminar Nasional Sains & Teknologi Universitas Lampung, Lampung.
- Noorhidana, Vera A. (2007), *Penambahan Jumlah Senggang pada Sambungan Cast in-Situ Concrete antar Balok Beton Pracetak untuk Meningkatkan Kekakuan dan Beban Geser*, Vol. 17, No. 2, *Jurnas Sains dan Teknologi EMAS*, FT UKI, Jakarta.
- Paulay, T., & R. Park (1984), *Joints in Reinforced Concrete Frames Design for Earthquake Resistance*, Research Report, Department of Civil Engineering, University of Canterbury Christchurch New Zealand.
- Riyanto, D.D. (2001), *Analisis Eksperimental Exterior Beam- Colum Joint Pracetak*, Tesis Magister Jurusan Rekayasa Struktur , ITB.